XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

O uso de sistemas verticais de vegetação como estratégia para conforto térmico

The use of vertical vegetation systems as a thermal comfort strategy

Cleila Cristina Navarini Valdameri
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Francisco Beltrão | Brasil | cleilavaldameri@utfpr.edu.br
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | cleilavaldameri@utfpr.edu.br
Fernando Simon Westphal
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | fswfernando@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa objetiva verificar a contribuição térmica do sistema vertical de vegetação para a zona bioclimática 2, tendo em vista que os estudos para esta região são escassos. Para isso, foram utilizadas três edificações distintas: na primeira foi implantada uma parede viva; na segunda foi instalada uma fachada verde; e a terceira serviu de testemunha e não sofreu intervenção. Para verificar a capacidade de sombreamento de cada sistema, foi realizada a medição das variáveis ambientais. Os resultados comprovam redução da temperatura do ar interno, confirmando que o sistema de sombreamento pode ser usado para melhorar o desempenho térmico das edificações.

Palavras-chave: Sistemas vertical de vegetação. Fachadas Verdes. Parede Viva.

Abstract

This research aims to verify the thermal contribution of the vertical system of vegetation to the bioclimatic zone 2, considering that studies for this region are scarce. For this, three different buildings were used, in the first a living wall was implanted, a green facade was installed in the second, and a third served as a witness and suffered no intervention. To verify the shading capacity of each system, the measurement of environmental variables was performed. The results show a reduction in the temperature of the indoor air, confirming that the shading system can be used to improve the thermal performance of buildings

Keywords: Vertical vegetation systems. Green Facades. Living Wall.

Como citar:
VALDAMERI, C. C. N; WESTPHAL, F. S. O uso de sistemas verticais de vegetação como estratégia para conforto térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022.

INTRODUÇÃO

Atualmente, inúmeros estudos têm pesquisado alternativas de sistemas passivos de condicionamento térmico para economia de energia em edificações, em substituição aos equipamentos mecânicos, minimizando o consumo de energia elétrica e reduzindo impactos ambientais.

A influência das plantas, como componentes de sombreamento, foi avaliada em várias pesquisas e verificou-se que é possível otimizar o desempenho energético dos edifícios por meio do uso de sistemas verticais de vegetação [1], [2], [3], [4].

Os sistemas verticais de vegetação são classificados em fachadas verde e paredes vivas, conforme as técnicas e características construtivas. A fachada verde é caracterizada pelo emprego de uma estrutura que é utilizada pela vegetação para se fixar. Nesse sistema, as trepadeiras são plantadas diretamente no solo ou em suportes. Por outro lado, em paredes vivas a vegetação é cultivada em estruturas de maior complexidade, por meio de vasos fixados às estruturas, contendo um substrato para desenvolvimento das plantas ou por meio de sistema hidropônico [5].

Há que se ressaltar que são escassos os estudos experimentais no Brasil sobre o uso dos sistemas verticais de vegetação na zona bioclimática 2. Assim, tendo em vista que o desenvolvimento das plantas depende do clima em que elas estão inseridas, estudos mais aprofundados do comportamento das diferentes espécies vegetais, em diferentes cenários climáticos, são relevantes para o desempenho eficiente dos sistemas verticais de vegetação.

MÉTODO

Este estudo tem como objetivo mensurar a contribuição térmica de sistemas verticais de vegetação implantados na zona bioclimática 2 por meio de análise experimental. Para tanto, foram utilizados três ambientes existentes e distintos, porém de iguais propriedades, nomeados, nesta pesquisa, como escritório “A”, escritório “B” e escritório “C”. A diferença entre os três escritórios constituiu-se na implantação do sistema vertical de vegetação nas fachadas.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento está localizado no município de Francisco Beltrão, Região Sudoeste do Paraná, Latitude 26°04´52´´S e Longitude 53°03´18´´O. O município possui 93.311 habitantes, uma área de 735.11 km², a uma altitude de 650 metros em relação ao nível do mar [6]. De acordo com a classificação climática de Köppen o município possui clima Cfa, subtropical quente e temperado, registrando temperatura média anual de 19,3 °C e pluviosidade média anual de 2030 mm [7].

CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O sistema vertical de vegetação foi implantado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão (UTFPR/FB). Para o estudo, foram utilizados três edifícios com características construtivas iguais, identificados na figura 1 como

escritórios “A”, “B” e “C”, sendo que neles estão alocados laboratórios e escritórios de professores. São edifícios de apenas um pavimento, e as fachadas utilizadas no experimento ficam localizadas na posição norte-noroeste. Isso faz com que recebam incidência solar no verão a partir das 10 horas até às 17 horas, e, no inverno, desde o nascer do sol até o pôr do sol. Os edifícios não sofrem interferência da sombra de outras construções.

Esses edifícios são constituídos por vedações em alvenaria convencional, com blocos vazados e revestimento argamassado em ambos os lados. As janelas são de modelo correr, com vidro incolor de 6 mm. A estrutura é feita em concreto armado, a cobertura é constituída de telhas de fibrocimento, e o forro é em PVC. Para evitar a influência dos diferentes tipos de usos que o edifício comporta, o experimento foi implantado nos escritórios de professores.

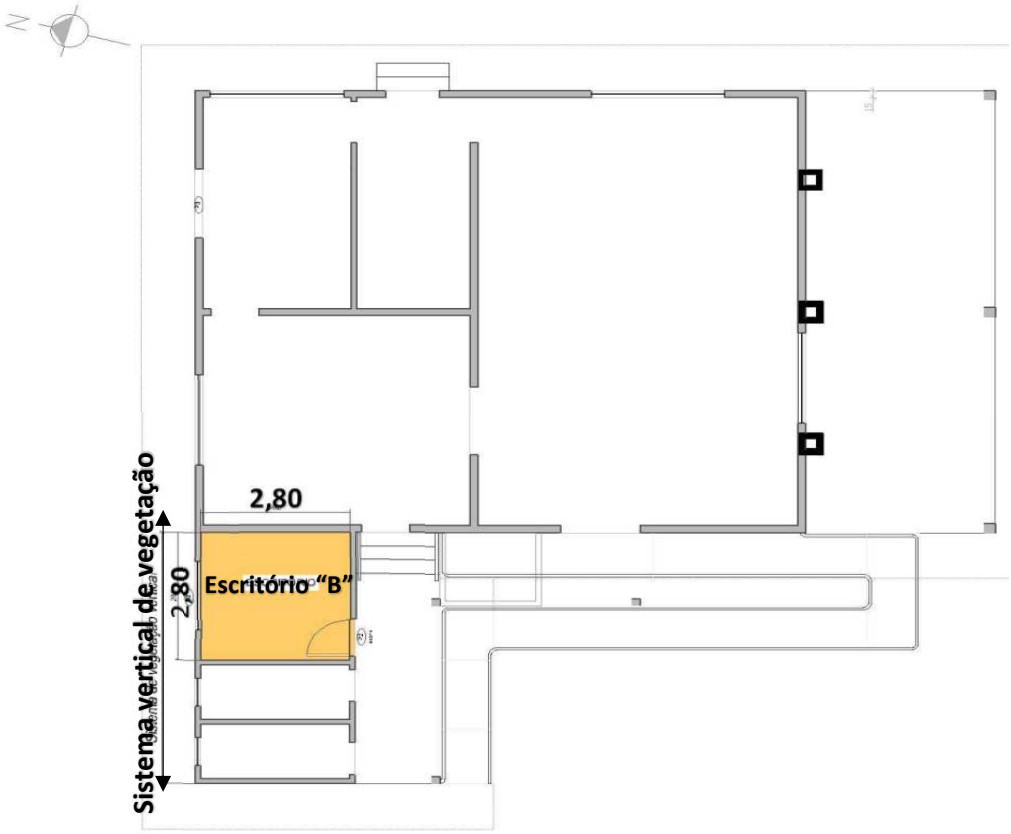
Figura 1: Vista aérea da localização do estudo com indicação das edificações A, B e C.



Fonte: Santhiago Morais.

A figura 2 apresenta a planta-baixa do escritório B, sendo que todos têm as mesmas dimensões e disposição na edificação. Os escritórios possuem 2,80 m de largura e 2,80 m de comprimento, totalizando área de 7,84 m², e apresentam pé-direito de 2,65 m.

Figura 2: Planta Baixa da edificação B.



Fonte: Edson Vanin, adaptado autor.

SISTEMA DE SOMBREAMENTO

Nas fachadas norte-noroeste dos escritórios "A" e "B" foi instalado um sistema vertical de vegetação. O escritório "C", utilizado como testemunha, foi mantido sem a presença de elementos de sombreamento.

No escritório "A" (figura 3a) foi instalada uma parede viva no dia 24/02/2022, constituída por vasos retangulares (500x150x200mm) feitos de chapas de Tetra Park reciclado, de 8 mm de espessura, preenchidos com substrato (50% húmus e 50% solo) e fixados à parede por meio de parafusos metálicos. As plantas usadas foram: *Portulaca grandiflora*, *Phormium tenax* e *Polypodium persicifolium*. Essas espécies foram selecionadas devido ao seu preenchimento rigoroso, baixa manutenção, adaptação ao clima e ao sol pleno.

A fachada verde (figura 3b) foi implantada no escritório "B" no dia 26/11/2021, sendo constituída de tela soldada de aço, de 6,00m x 2,40m (com espaçamento 15x15cm). A tela foi fixada na posição inclinada sobre a fachada, presa por ganchos metálicos no beiral. A parte inferior foi fixada com grampos diretamente no solo. A planta trepadeira *Wisteria sp* foi escolhida por ser decídua, apresentar bom cobrimento, com baixa necessidade de manutenção e boa adaptação às condições climáticas locais.

Figura 3: Sistemas verticais de sombreamento utilizados no estudo: (a) parede viva, (b) estrutura da fachada verde.



Fonte: autor

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Para verificar a similaridade dos escritórios “A”, “B” e “C”, no período de 13 a 18 de novembro de 2021, antes da instalação do sistema vertical de vegetação foi realizado o monitoramento dos dados de temperatura do ar, temperatura de globo e umidade relativa do ar no interior desses ambientes. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa foram coletados simultaneamente nos três escritórios, a cada 10 minutos, com equipamentos *data logger*, calibrados. Esses equipamentos foram posicionados no centro de cada escritório, a uma altura de 75cm do piso. Os ambientes foram mantidos fechados, com as cortinas abertas. O único acesso foi realizado pela pesquisadora para a coleta de dados do termômetro de globo, que não era do tipo *data logger*.

Foram utilizados três termômetros de globo colocados um em cada escritório, simultaneamente. Um período de 10 min anterior ao registro dos dados foi aguardado para estabilização da medição da temperatura de globo. Os dados foram coletados às 10 horas e às 15h30min, nos dias 09, 12, 14, 15, 16 e 18 de novembro de 2021.

Para avaliar o comportamento térmico após o plantio da vegetação, outro monitoramento foi realizado nos dias 21 a 26 de abril de 2022. Nesta etapa foram verificados os dados de temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, e também a temperatura superficial da parede interna e externa.

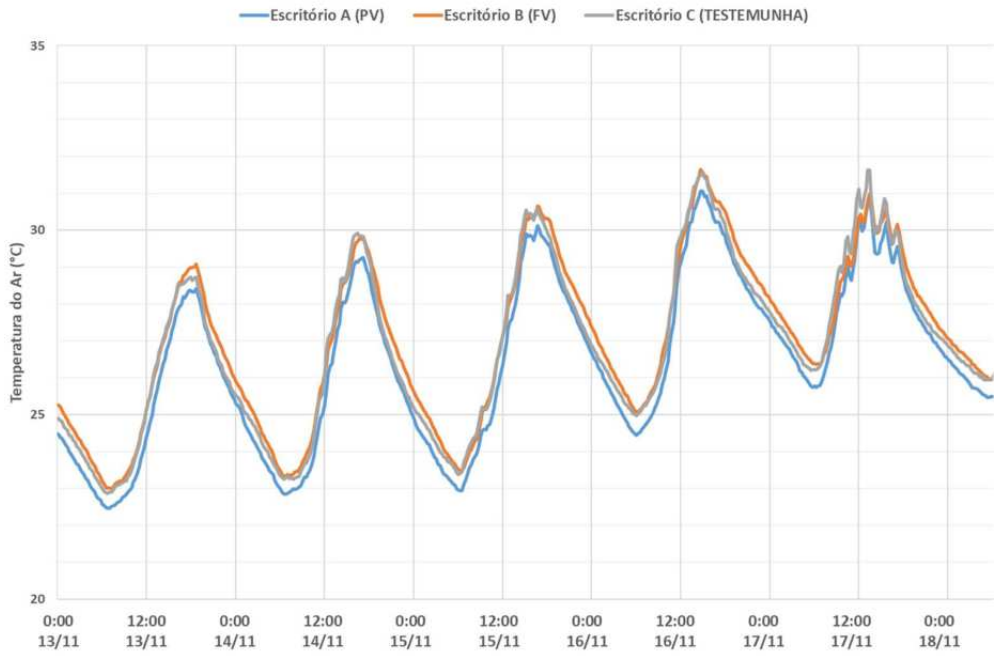
O procedimento de medição seguiu o mesmo método adotado durante a verificação de similaridade dos ambientes. Os dados foram coletados simultaneamente, a cada 10 minutos, por equipamentos *data logger*, e os ambientes foram mantidos fechados, com as cortinas abertas, restringido o acesso no período de medições. Os equipamentos de termômetro de globo e termo-higrômeto foram posicionados no centro de cada sala, a uma altura de 75cm. Os sensores de temperatura superficial da parede interna foram posicionados de maneira centralizada, logo abaixo das janelas, a

80 cm de altura em relação ao piso, e os sensores externos foram posicionados exatamente na mesma altura e posição, porém no lado externo da parede.

RESULTADOS

A figura 4 resume os dados coletados de temperatura do ar interior dos três escritórios “A”, ”B” e “C” nos dias 12 a 18 de novembro de 2021. Essa coleta foi realizada antes da instalação do sistema vertical de vegetação para verificar a similaridade entre os ambientes.

Figura 4: Temperatura do ar verificada de 13 a 18 de novembro 2021 em cada escritório antes da instalação do sistema vertical de vegetação.



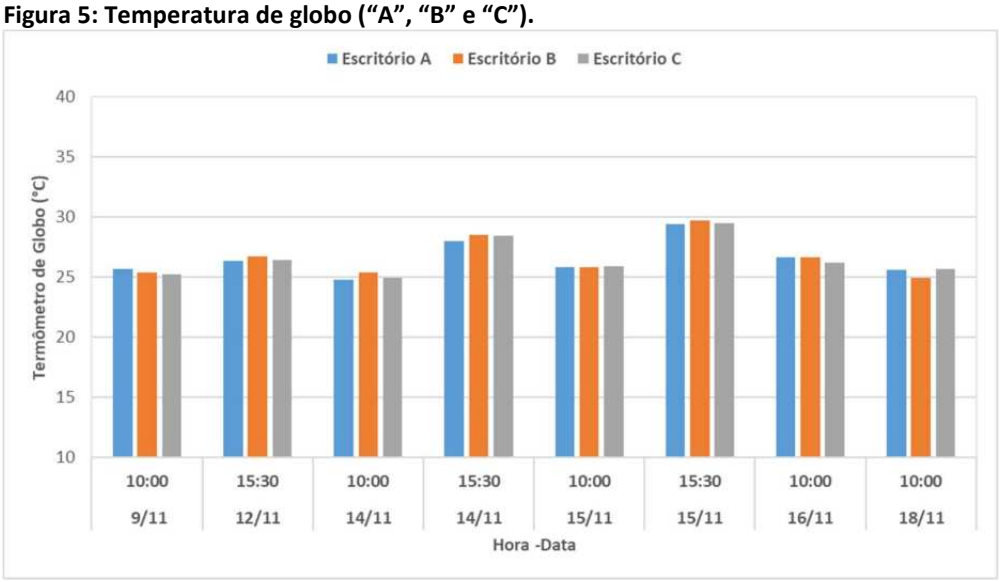
Fonte: o autor.

Conforme os resultados apresentados na figura 04, observa-se que o comportamento térmico dos escritórios tem similaridade, tendo em vista que as curvas traçadas nas análises realizadas são semelhantes e quase se sobrepõem. A maior variação que ocorreu durante o período de medição foi de 0,6°C, entre os escritórios “A” e “B”, com menores temperaturas para o escritório “A”. As curvas do escritório “A” apresentaram comportamentos semelhantes ao escritório “C”, no período da tarde, sobrepondo-se em muitos pontos. Contudo, os escritórios “B” e “C” apresentam sobreposição em muitos pontos, porém, no período da manhã.

Os dados de temperatura de globo (figura 5) apresentam valores próximos entre as três salas. Porém, não houve um padrão de diferença repetitivo ao longo dos registros. Nas medições dos dias 9/11 e 16/11, às 10 h, os dados do escritório “A” foram mais elevados, mas para as outras medições, no período da manhã, o escritório “C” apresentou maiores valores. Nas medições realizadas às 15h30min, o escritório “B” apresentou os valores mais elevados.

Mesmo os ambientes tendo similaridades construtivas, são vários os motivos que podem interferir na igualdade dos resultados, como o mobiliário e layout diferentes, implantação em locais e vizinhança distintos, entre outros. Contudo, os possíveis motivos dessas desigualdades não serão averiguados nesta pesquisa.

Figura 5: Temperatura de globo ("A", "B" e "C").



Fonte: o autor.

Observa-se no resumo apresentado na tabela 1, que os dados para todos os parâmetros dos escritórios "A", "B" e "C" mantiveram seus valores próximos. O escritório "B" registrou os maiores valores para temperatura do ar e termômetro de globo. Para a umidade relativa do ar, os dados do escritório "A" foram os que mais se distanciaram, apresentando os valores mais elevados. Tendo em vista a semelhança entre os ambientes, constatou-se a viabilidade de utilização desses ambientes para os estudos comparativos entre os sistemas verticais de vegetação. Entretanto, as diferenças serão consideradas nas análises dos resultados finais.

Tabela 1: Resumo dos dados ambientais monitorados nos escritórios sem a instalação dos sistemas de vegetação verticais.

Ambiente/ Tratamento	Temperatura do Ar (°C)			Temperatura de Globo (°C)			Umidade relativa do ar (%UR)		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
Primavera (12 a 18 de novembro 2021)									
Escritório "A"	22,5	26,4	31,0	24,8	26,5	29,4	52	71	84
Escritório "B"	23,0	26,9	31,6	24,9	26,6	29,7	46	65	78
Escritório "C"	22,8	26,8	31,6	24,9	26,5	29,5	42	63	78

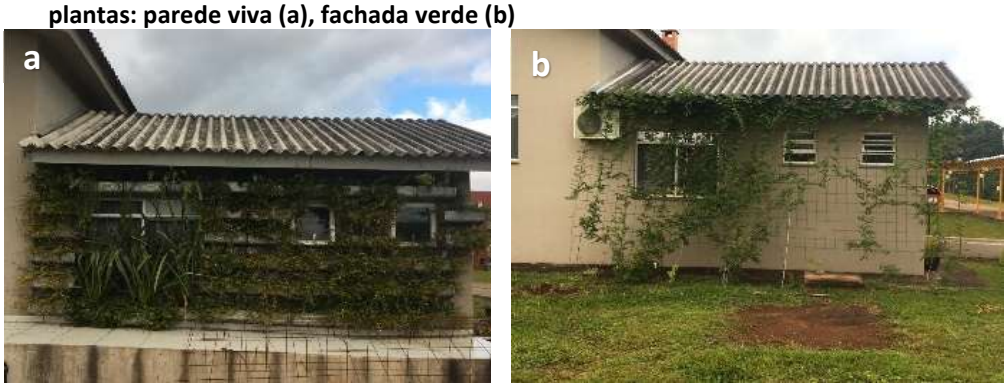
Fonte: o autor.

MEDIÇÕES EM OUTONO

A coleta dos dados nos ambientes em que foram instalados os sistemas verticais de vegetação foi realizada 150 dias após o plantio das mudas de *Wisteria sp* na fachada verde, e 60 dias após o plantio e a instalação da parede viva. O desenvolvimento da vegetação, em cada um dos sistemas no período de medição, pode ser observado na figura 7.

Percebe-se que a cobertura da fachada verde (figura 7b), ainda não atingiu o cobrimento total. Porém, na parede viva as plantas apresentam uma densidade de fechamento maior, cobrindo quase a totalidade da parede.

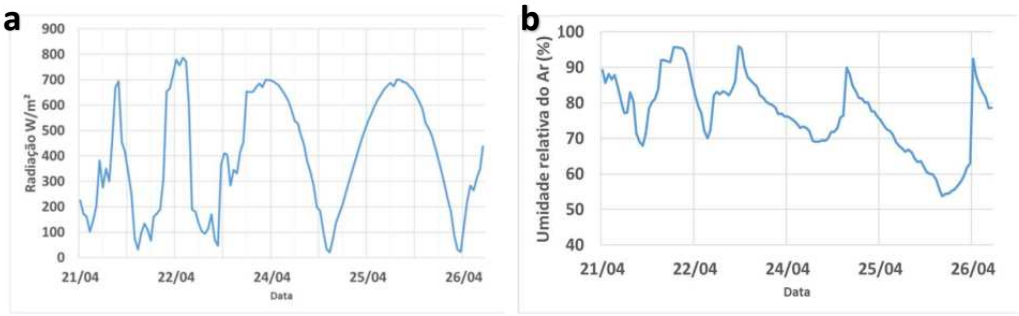
Figura 7: Vista externa dos sistemas verticais de vegetação com desenvolvimento das plantas: parede viva (a), fachada verde (b)



Fonte: o autor.

A figura 6 apresenta os dados de radiação solar e umidade relativa do ar para o período da coleta de dados, registrados na estação do Simepar, em Francisco Beltrão. A máxima radiação solar foi de 786W/m² e a média foi de 399 W/m². Os registros de máxima umidade relativa ocorreram entre os dias 21 e 22, atingindo um valor de 96%. Isso se justifica porque nesses dois dias o céu permaneceu nublado, com chuva. Após o dia 23, até o último dia de medição, o céu ficou ensolarado sem nuvens, obtendo os menores índices de umidade relativa do ar para o período.

Figura 6: Dados de radiação solar (a) e umidade relativa do ar (b) para o período de21 a 26 de abril 2022.

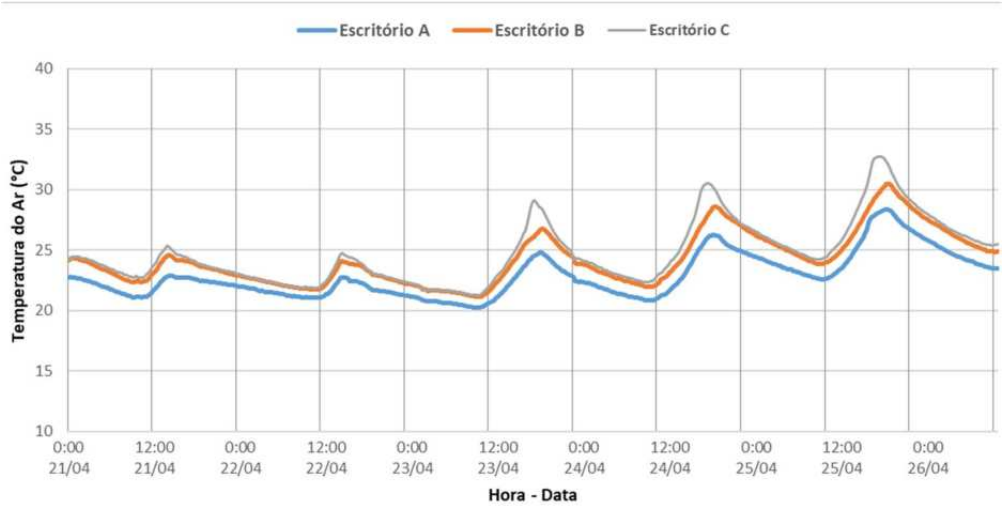


Fonte: Simepar.

Com os dados de temperatura do ar do ambiente interno, apresentados na figura 8, observa-se que a presença de nuvens nos dias 21/04 e 22/04 resultou em temperaturas máximas mais baixas. As curvas de temperatura dos ambientes “B” e “C”

foram muito semelhantes, sobrepondo-se em muitos pontos. Contudo, para os dias 23/04 a 26/04, houve aumento da temperatura máxima, e as curvas se distanciaram.

Figura 8: Temperatura do ar ("A", "B" e "C") de 21 a 26 de abril 2022.



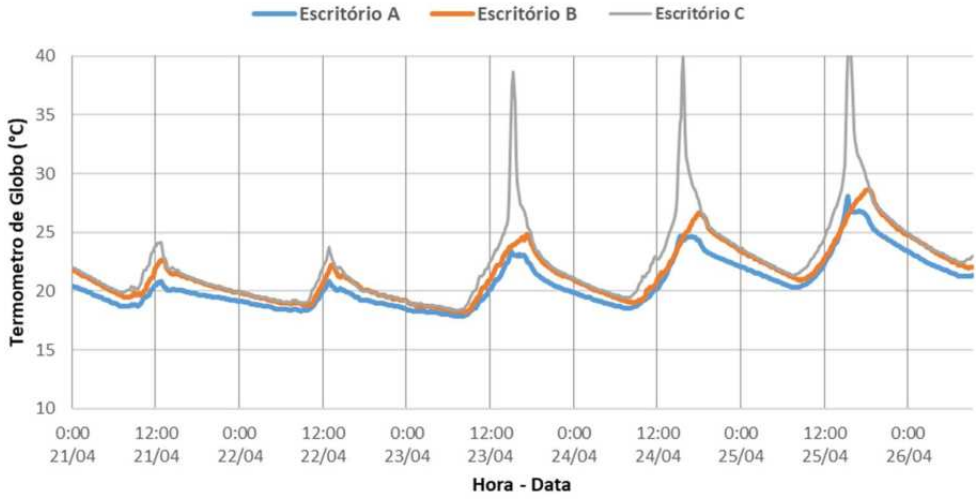
Fonte: o autor.

A maior diferença observada entre as curvas de temperatura do ar foi no período da tarde, nas horas mais quentes. A temperatura do escritório "C" (ambiente usado como testemunha, sem vegetação) foi mais elevada em todo o período de medição, acentuando-se principalmente nas horas mais quentes.

A presença de vegetação atenuou a temperatura interna dos ambientes. Nota-se que ocorre maior atenuação para o escritório "A", onde foi instalada a parede viva, na qual as caixas e substrato para as plantas devem ter contribuído para aumentar o isolamento térmico da fachada.

Os dados registrados pelos termômetros de globo, apresentados na figura 9, mostram similaridade com as curvas de temperatura do ar da figura 8 nos primeiros dias de medição. Observa-se uma diferença expressiva no período da tarde, a partir do dia 23, entre as temperaturas do escritório "C" e os demais ambientes. Isso se deve à incidência solar direta no equipamento, nesse período, para esse ambiente. Nos demais ambientes não houve essa incidência, em função da sombra produzida pelas plantas. Percebe-se também que as curvas dos escritórios "A" e "B" se sobrepuseram no período da manhã, mas se distanciaram no período da tarde. As curvas dos escritórios "B" e "C" se distanciaram no período da manhã, sobrepondo-se no período da tarde. Isso se deve ao fato de que a área de fechamento das plantas, no ambiente "B", está mais acentuada no lado esquerdo da fachada, onde há incidência solar no período da manhã. Porém, o lado direito da fachada apresenta um índice de área foliar menor, permitindo maior incidência solar nesse período.

Figura 9: Temperatura de globo registrada nos escritórios no período de 21 a 26 de abril 2022.



Fonte: o autor.

Analisando os dados apresentados na tabela 2, com relação à temperatura do ar observa-se que houve redução no escritório "A" em relação ao escritório "C" de 4,4°C. Considerando que nas análises iniciais, sem a presença de vegetação, esses ambientes apresentavam uma diferença na temperatura máxima de 0,6°C, a redução final será de 3,8°C. Na temperatura média, a diferença entre esses dois ambientes é de 1,5°C, já considerando uma correção de 0,4°C identificada na etapa de verificação de similaridade. Comparando os ambientes "B" e "C" observam-se valores inferiores para o escritório "B", sendo de 2,3°C na temperatura máxima, e de 0,5°C na temperatura média. Ao analisar os dados do termômetro de globo, percebe-se uma grande diferença da temperatura máxima do escritório "C" em relação aos demais ambientes. Isso ocorreu devido à incidência direta do sol em alguns momentos, enquanto os demais escritórios estavam protegidos pela sombra produzida pelas plantas.

Tabela 2: Resumo dos dados ambientais monitorados nos escritórios após a instalação dos sistemas de vegetação verticais

Ambiente/ Tratamento	Temperatura do Ar (°C)			Termômetro Globo (°C)			Umidade relativa do ar (%UR)		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
Outubro (21 a 26 de abril 2022)									
Escritório "A"	20,2	22,8	28,3	17,8	20,6	28,0	73	83	88
Escritório "B"	21,1	24,2	30,4	18,1	21,6	28,6	66	74	78
Escritório "C"	21,2	24,7	32,7	18,4	22,5	42,6*	56	51	78

(*)Neste ambiente, ocorreu incidência de sol sobre o termômetro de globo. Fonte: o autor.

Percebe-se, com esses dados, que a presença da camada de vegetação atenuou a temperatura dos ambientes internos, principalmente no escritório com a parede viva ("A"). Além das plantas, é importante levar em conta que o sistema de parede viva é

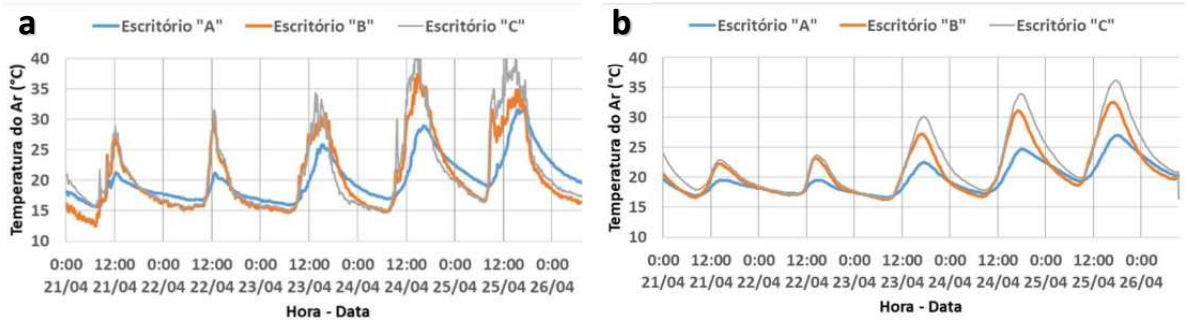
composto de vasos e substrato, elementos que contribuem para o isolamento térmico do sistema. Observa-se uma diferença significativa entre os dados do ambiente protegido pela parede viva e o ambiente testemunha, figura 10(a). A temperatura máxima da superfície do escritório "C" foi 11,0°C maior que a temperatura máxima das áreas sombreadas pela parede viva. Contudo, para as temperaturas mínimas, o escritório "A" apresentou uma temperatura 1,2 °C maior que a ambiente testemunha. Assim, além de amenizar as temperaturas mais elevadas, a parede viva serviu como isolante.

O escritório "B", mesmo com as plantas não apresentando fechamento completo, apresentou redução da temperatura interna em relação ao ambiente testemunha. Espera-se que após o fechamento completo desse sistema, a atenuação seja ainda maior.

Em outra pesquisa realizada no mesmo local e estação do ano a fachada verde com trepadeira *Stictocardia macalusoi* proporcionou redução de 2,7°C na temperatura média do ar interno [8].

Vários autores verificaram a amenização da temperatura interna causada pelas paredes vivas e pelas fachadas verdes, e encontraram resultados satisfatórios para os dois sistemas [1], [9], [10], [11].

Figura 10: Temperatura sensores externos (a) e internos (b) parede, de 21 a 26 de abril 2022.



Fonte: o autor.

A tabela 3 mostra um resumo das temperaturas das superfícies internas e externas das paredes dos escritórios. A temperatura máxima registrada na parede do ambiente testemunha foi superior aos valores dos escritórios "A" e "B", os quais estão protegidos pela sombra das plantas.

No escritório "B", a temperatura máxima da parede externa apresentou uma redução, em relação ao escritório "C" de 4,9°C.

Tabela 3: Resumo temperatura sensores internos e externos parede ("A", "B" e "C") de 21 a 26 de abril 2022.

Ambiente/ Tratamento	Temperatura Sensor Interno (°C)			Temperatura Sensor Externo (°C)		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
	Outubro (21 a 26 de abril 2022)					
Escritório "A"	16,6	19,8	27,0	16,3	21,0	32,5
Escritório "B"	15,5	20,3	32,3	12,5	20,4	38,6
Escritório "C"	16,4	22,4	36,2	15,1	21,3	43,5

Fonte: o autor.

CONCLUSÃO

Por meio do experimento realizado foi possível constatar o potencial de sombreamento do sistema vertical de vegetação no período do outono, com melhores resultados para o sistema de paredes vivas. O estudo se estenderá às demais estações do ano.

A coleta de dados foi realizada 150 dias após o plantio da trepadeira *Wisteria sp* no sistema de fachada verde. Com isso, o desenvolvimento da planta ainda não havia atingido seu desempenho total, apresentando vários vazios entre as folhas. Contudo, esse sistema ainda resultou em temperaturas inferiores no ambiente onde foi instalado, comparando-se com as verificadas no ambiente testemunha. A diferença entre os dados foi de 2,3 °C para a temperatura máxima do ar; 14 °C para a temperatura do termômetro de globo máxima; e de 4,9 °C na temperatura superficial externa da parede. Outro fator relevante foi a amplitude térmica, sendo que o sistema de fachada verde apresentou as menores diferenças, ou seja, além de reduzir a temperatura nos horários mais quentes, proporcionou amortecimento da temperatura nos horários mais frios.

Com relação à parede viva, comparada ao ambiente testemunha, esse sistema possibilitou um ambiente com temperaturas mais amenas. No período da tarde o sistema de sombreamento proporcionou uma redução em todos os parâmetros de temperatura analisados, sendo que os dados de temperatura do ar foram reduzidos, em média, 1,5° C, e a temperatura máxima do ar foi atenuada em 3,8 °C. Entretanto, para as temperaturas registradas na face externa da parede e pelo termômetro de globo, a redução foi expressiva, chegando a 11,0 °C e 14,6 °C, respectivamente. Assim como no sistema de fachada verde, o sistema de parede viva também apresentou menor amplitude térmica do que no ambiente testemunha.

Para o estudo de caso em análise, localizando em uma região da zona bioclimática 2, pode-se constatar que o uso do sistema vertical de vegetação, tanto a parede viva quanto a fachada verde, foi eficaz na redução de temperatura interna dos ambientes, podendo ser utilizado como alternativa para reduzir o consumo de energia de condicionamento artificial do ar.

REFERÊNCIAS

[1] CHÀFER, M; COMA J.; CABEZA, L**. A comparative life cycle assessment between green walls and green facades in the Mediterranean continental climate**. Energy Build. 249, 111236, 2021 https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111236 0378-7788

[2] COSOLA, V. *et al.* **An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems**. J. Environ. Manage, 254, 109743, 2020 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109743

[3] PÉREZ, G. *et al.* **Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect**. Applied Energy. v. 187, p. 424–437, fevereiro 2017.

[4] VOX, G.; BLANCO, I.; SCHETTINI, E. **Green façades to control wall surface temperature in buildings**, Building and Environment. 129 (2018) 154-166, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002

[5] SCHERER, M. J.; ALVES, T. S.; REDIN, J. **Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas**. Revista de Arquitetura IMED**,** Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 84-101, out. 2018. doi:https://doi.org/10.18256/2318-1109.2018.v7i1.2693.

[6] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Francisco Beltrão. 2020. Disponível em: https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/francisco-beltrao.html. Acesso em 15 maio de 2022.

[7] IAPAR. **Médias Históricas em estações do IAPAR - Francisco Beltrão**. 2020. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Francisco_Beltrao.pdf. Acesso em 15 maio de 2022.

[8] REFATI, Kassiana Kamila PagnoncelII. **Cortina verde com diferentes espécies trepadeiras e os efeitos termo-higrométricos em um ambiente.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2020.

[9] FENG, H.; HEWAGE, K. **Lifecycle assessment of living walls: Air purification and energy performance.** J. Clean. Prod, 69, 91–99, 2014. https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2014.01.04.

[10] PAN, L.; CHU, L.; **Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong: A case study**. Build. Environ. 96, 293–300, 2016. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033.

[11] OTTELÉ, M. *et al.* **Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems.** Energy Build. 43, 3419–3429, 2011. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010

PÉREZ,G. *et al.* **Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings.** Applied Energy, 2011.10.1016/j.apenergy.2011.06.032